

Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage sowie
Verfahren zum Einbringen einer Immersionsflüssigkeit
in einen Immersionsraum

Die Erfindung betrifft eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit einer Beleuchtungseinrichtung zur Erzeugung von Projektionslicht, einem Projektionsobjektiv mit mehreren optischen Elementen, mit dem ein in einer Objektebene des Projektionsobjektivs anordnenbares Retikel auf eine in einer Bildebene des Projektionsobjektivs anordnbare und auf einem Träger aufgebrachte lichtempfindliche Oberfläche abbildbar ist, und mit einer Immersionseinrichtung zum Einbringen einer Immersionsflüssigkeit in einen Immersionsraum zwischen einem bildseitig letzten optischen Element des Projektionsobjektivs und der lichtempfindlichen Oberfläche. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Einbringen einer Immersionsflüssigkeit in einen derartigen Immersionsraum.

Eine Projektionsbelichtungsanlage sowie ein Verfahren dieser Art sind aus der EP 0 023 243 A1 bekannt. Diese bekannte Projektionsbelichtungsanlage weist zur Aufnahme einer zu belichtenden Halbleiterscheibe einen oben offenen Behälter auf, dessen oberer Rand höher liegt als die untere Grenzfläche der bildseitig letzten Linse des Projektionsobjektivs. In den Behälter münden Zu- und Ableitungen für eine Immersionsflüssigkeit, die mit einer Pumpe, einer Temperiereinrichtung sowie einem Filter zur Reinigung der Immersionsflüssigkeit verbunden sind. Während des Betriebs der Projektionsbelichtungsanlage wird die Immersionsflüssigkeit

in einem Flüssigkeitskreislauf umgewälzt, wobei ein Zwischenraum ausgefüllt bleibt, der zwischen der unteren Grenzfläche der bildseitig letzten Linse des Projektionsobjektivs und der zu belichtenden Halbleiterscheibe verbleibt. Durch den höheren Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit, der bei dieser bekannten Projektionsbelichtungsanlage vorzugsweise dem Brechungsindex der auf der Halbleiterscheibe aufgebrachten lichtempfindlichen Schicht entspricht, soll das Auflösungsvermögen des Projektionsobjektivs vergrößert werden.

Eine Projektionsbelichtungsanlage mit einer Immersionseinrichtung ist ferner aus der WO 99/49504 bekannt. Bei dieser Projektionsbelichtungsanlage münden die Zu- und Ableitungen für die Immersionsflüssigkeit unmittelbar an der unteren Grenzfläche der bildseitig letzten Linse des Projektionsobjektivs. Insbesondere die Verwendung mehrerer derartiger Zu- und Ableitungen, die beispielsweise ringförmig um die bildseitig letzte Linse herum angeordnet sein können, erlaubt es, auf einen umgebenden Behälter zu verzichten, da seitlich abfließende Immersionsflüssigkeit abgesaugt und wieder so zugeführt wird, daß der Immersionsraum zwischen der bildseitig letzten Linse und der lichtempfindlichen Oberfläche mit Immersionsflüssigkeit ausgefüllt bleibt.

Generell verspricht die Immersionslithographie sehr große numerische Aperturen und auch eine größere Tiefenschärfe. Die Abbildungsqualität von mikrolithographischen Immersionsobjektiven lässt in vielen Fällen jedoch zu wünschen übrig.

Aufgabe der Erfindung ist es deswegen, ein Projektionsobjektiv der eingangs genannten Art anzugeben, mit dem sich eine höhere Abbildungsqualität erzielen läßt.

Gelöst wird diese Aufgabe dadurch, daß die Immersionsein-

5 richtung Mittel umfaßt, durch die das Auftreten von Gasblasen in der Immersionsflüssigkeit verhindert werden kann und/oder bereits aufgetretene Gasblasen entfernt werden können.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß eine der Ursachen für Abbildungsfehler Blasen in der Immersionsflüssigkeit sind. Die verwendeten Immersionsflüssigkeiten, z. B.

10 Wasser oder bestimmte Öle, enthalten nämlich grundsätzlich gelöste Gase, die bei Druck- und/oder Temperaturänderungen in die Gasphase übergehen und auf diese Weise zur Entstehung von Blasen führen.

Derartige Druckänderungen entstehen beispielsweise dann, wenn vor Beginn der Projektion der Immersionsraum zwischen dem bildseitig letzten optischen Element und der lichtempfindlichen Oberfläche mit der Immersionsflüssigkeit gefüllt 20 wird. Ein Auffüllen des Immersionsraums mit Immersionsflüssigkeit ist außerdem immer dann erforderlich, wenn ein Träger mit einer bereits belichteten lichtempfindlichen Schicht gegen einen Träger ausgetauscht wird, dessen lichtempfindliche Schicht noch unbelichtet ist.

25 Eine weitere Ursache für Druckschwankungen, die zur Blasenentstehung führen, sind Bewegungen des Trägers relativ zu dem Projektionsobjektiv, wie sie sowohl bei reinen Steppern

oder Scannern als auch bei solchen Projektionsbelichtungsanlagen auftreten, bei denen schrittweise und kontinuierliche Bewegungen des Trägers kombiniert werden. Insbesondere an den Rändern der lichtempfindlichen Oberfläche kann es 5 bei diesen Bewegungen zu den unerwünschten Druckschwankungen kommen. Darüber hinaus können aber auch bei bestimmten Oberflächenstrukturen in den Zwischenbereichen Druckschwankungen entstehen, die zur Blasenbildung führen.

Ein ähnliches Problem ergibt sich auch bei Meßköpfen für 10 Projektionsobjektive, die anstelle des Trägers in die Bildebene eingeführt werden, um die Abbildungsqualität des Projektionsobjektivs zu ermitteln. Während der Messungen wird der Sensorkopf unter dem Projektionsobjektiv hindurch innerhalb der Bildebene bewegt, wodurch es ebenfalls zur Blasenbildung kommen kann. 15

Die erfindungsgemäße Immersionseinrichtung kann beispielsweise eine Absaugeeinrichtung zum Absaugen von Gasblasen umfassen, die einen in den Immersionsraum mündenden Absaugstutzen aufweist. Dieser Absaugstutzen, der zusätzlich zu 20 einem ggfs. ohnehin zur Umwälzung der Immersionsflüssigkeit benötigten Absaugstutzen vorgesehen sein kann, saugt vorzugsweise in unmittelbarer Nähe des bildseitig letzten optischen Elements Immersionsflüssigkeit mit darin enthaltenen Blasen an, so daß diese die Abbildungsqualität nicht 25 beeinträchtigen können.

Falls der Träger in einer Scanrichtung der Projektionsbelichtungsanlage verschiebbar ist, so ist es zweckmäßig, wenn die Immersionseinrichtung eine den Immersionsraum zu-

mindest teilweise begrenzende Seitenwand aufweist, die so ausgeführt ist, daß zumindest ein seitliches Abfließen der Immersionsflüssigkeit quer zu der Scanrichtung weitgehend verhindert wird. Auf diese Weise werden Inhomogenitäten der 5 Immersionsflüssigkeit senkrecht zur Scanrichtung verringert. Inhomogenitäten parallel zur Scanrichtung sind beim Scannen hingegen weniger kritisch, da in dieser Richtung durch das Scannen eine Mittelung eintritt.

10 Besonders bevorzugt ist es jedoch, wenn die Seitenwand das bildseitig letzte optische Element vollständig, insbesondere ringförmig, umgibt. Auf diese Weise wird jeglicher unerwünschter Abfluß von Immersionsflüssigkeit unterbunden.

15 Eine weitere Möglichkeit, in der Immersionsflüssigkeit entstandene Blasen zu entfernen, besteht darin, an die Seitenwand eine Ultraschallquelle anzukoppeln, durch die die Seitenwand in Schwingungen versetzbare ist. Da sich die Blasen an sich auch alleine auflösen, die dafür erforderliche Zeit jedoch relativ lange ist, kann durch das Anlegen eines auf die Seitenwand wirkenden Ultraschallfeldes die Immersions- 20 flüssigkeit zu Schwingungen angeregt werden, wodurch die Auflösung der Blasen erheblich beschleunigt werden kann. Durch das Ultraschallfeld werden die Blasen nämlich in hochfrequente Schwingungen versetzt und dabei deformiert, wodurch sich der Auflösungsprozeß beschleunigt.

25 Vorteilhaft ist es ferner, wenn die Immersionseinrichtung Umwälzmittel zum Umwälzen der Immersionsflüssigkeit in den Immersionsraum aufweist, die eine Umwälzpumpe, einen in den Immersionsraum mündenden Einfüllstutzen und einen in den

5 Immersionsraum mündenden Absaugstutzen umfassen. Auf diese Weise kann die Immersionsflüssigkeit im Umlözbetrieb stetig gereinigt, temperiert und auch entgast werden, wenn zusätzlich ein Entgaser zum Entfernen von Gasblasen aus der

5 Immersionsflüssigkeit vorgesehen ist.

Ein hierfür geeigneter Entgaser kann beispielsweise eine geneigt angeordnete, vorzugsweise kegelstumpfförmige Ablauffläche aufweisen, auf die von oben Immersionsflüssigkeit aufgebracht werden kann und über der ein Unterdruck 10 aufbaubar ist. Dieser Unterdruck bewirkt, daß Gase, die in dem über die Ablauffläche verteilten Flüssigkeitsfilm gelöst sind, in die Gasphase übergehen und aus dem Film austreten.

15 Falls der Träger in einer Scanrichtung der Projektionsbe- lichtungsanlage verschiebbar ist, so ist es ferner bevor- zugt, wenn der Träger so zu dem Projektionsobjektiv ange- ordnet ist, daß sich die Ausdehnung des Immersionsraumes senkrecht zur Bildebene entlang der Scanrichtung verklei- 20 nert. Da im allgemeinen sowohl die lichtempfindliche Ober- fläche als auch die bildseitige Grenzfläche des bildseitig letzten optischen Elements plan sind, entsteht auf Grund dieser Anordnung ein im wesentlichen keilförmiger Immersi- 25 onraum, der zur Scanrichtung hin spitz zuläuft. Dieser keilförmige Immersionsraum erzeugt führt bei der Scanbewe- gung des Trägers zu einer Ansaugwirkung, so daß das Umlözen der Immersionsflüssigkeit in dem Immersionsraum nur ei- ne geringe Pumpleistung der Umlözpumpe erfordert. Die keilförmige Geometrie des Immersionsraumes hat außerdem den

Vorteil, daß in dem Immersionsraum insgesamt ein gleichmäßiger Fluidstrom entsteht.

In diesem Zusammenhang ist es natürlich bevorzugt, wenn der Ansaugstutzen der Umwälzmittel in Scanrichtung vor dem Ein-
5 füllstutzen der Umwälzmittel angeordnet ist, da auf diese Weise das Ansaugen der Immersionsflüssigkeit durch die Scanbewegung unterstützt wird.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die Umwälzmittel in das Projektionsobjektiv, vorzugsweise 10 in eine Fassung des bildseitig letzten optischen Elements, integriert. In Betracht kommt sogar, die Umwälzmittel in das optische Element selbst zu integrieren. Diese Maßnahmen tragen dazu bei, den Immersionsraum möglichst glatt und kantenlos zu halten und auf diese Weise Verwirbelungen der 15 Immersionsflüssigkeit zu vermeiden, die zur Entstehung von Blasen führen können.

Ein anderer Weg, mit dem sogar das Auftreten einer Blasenbildung weitgehend vermieden werden kann, besteht darin, die lichtempfindliche Oberfläche in einer abgeschlossenen 20 und vollständig mit Immersionsflüssigkeit gefüllten Kassette aufzunehmen, in deren objektseitiger Wandung das bildseitig letzte optische Element des Projektionsobjektivs in einer zur Bildebene parallelen Richtung verschiebbar aufgenommen ist. Auf diese Weise ist die Immersionsflüssigkeit 25 von der Umgebung hermetisch abtrennbar, so daß die übrigen Teile der Projektionsbelichtungsanlage nicht durch die Immersionsflüssigkeit kontaminiert werden können. Eine derartige Kassette kann ferner auch im Vakuum eingesetzt werden.

Da das Einbringen des Trägers in die Kassette sowie deren Befüllung mit der Immersionsflüssigkeit außerhalb des Strahlengangs der Projektionsbelichtungsanlage durchgeführt werden können, lassen sich diese Maßnahmen ohne Zeitdruck 5 durchführen, so daß mit Hilfe geeigneter Maßnahmen das Eintragen von Gasblasen zuverlässig verhindert werden kann.

Auch die Reinigung der Kassetten sowie die Entfernung verbrauchter Immersionsflüssigkeit lassen sich abseits des Strahlengangs und damit ohne Zeitdruck durchführen.

10 Um die Entstehung von Gasblasen auf Grund der Verschiebung des bildseitig letzten optischen Elements zu verhindern, kann die Kassette mit einem Reservoir in Verbindung stehen, durch die ggfs. Immersionsflüssigkeit nachgeführt oder an die überflüssige Immersionsflüssigkeit abgegeben werden 15 kann.

Vorzugsweise jedoch ist die objektseitige Wandung der Kassette so ausgeführt, daß sich das mit der Immersionsflüssigkeit gefüllte Volumen in der Kassette bei einer Verschiebung des bildseitig letzten optischen Elements nicht 20 verändert. Auf diese Weise kommt die Immersionsflüssigkeit während des Betriebs zu keinem Zeitpunkt mit der Umgebung und insbesondere mit Gasen in Kontakt, wie dies bei einem zusätzlichen Reservoir der Fall wäre.

Realisiert werden kann eine derartige Wandung beispielsweise 25 durch einen Faltenbalg oder eine Anordnung von plattenförmigen Teilelementen, die in der Verschieberichtung des bildseitig letzten optischen Elements über- oder ineinanderschiebbar sind.

Besonders bevorzugt ist es ferner, wenn sich mit der Immersionseinrichtung eine von der Immersionsflüssigkeit verschiedene Spülflüssigkeit in den Immersionsraum einbringen läßt. Mit Hilfe der Spülflüssigkeit lassen sich Reste verbrauchter und kontaminierte Immersionsflüssigkeit aus dem Immersionsraum entfernen.

Zur Unterstützung der Reinigung kann der Träger mit der lichtempfindlichen Oberfläche gegen eine Reinigungsplatte austauschbar sein, die in eine Bewegung innerhalb einer zu 10 der Bildebene parallelen Ebene versetzbare ist.

Auch die Art und Weise, wie die Immersionsflüssigkeit erstmalig in den Immersionsraum eingebracht wird, hat Einfluß auf die Entstehung von Blasen. Gegenstand der Erfindung ist deswegen auch ein Verfahren zum Einbringen einer Immersionsflüssigkeit in einen Immersionsraum, der zwischen einem 15 bildseitig letzten optischen Element eines Projektionsobjektivs einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikolithographie und einer auf einen Träger aufgebrachten zu belichtenden lichtempfindlichen Oberfläche ausgebildet ist.

Um bei diesem Vorgang die Ausbildung von Blasen zu minimieren, sind folgende Schritte vorgesehen:

- a) Benetzen der lichtempfindlichen Oberfläche und des bildseitig letzten optischen Elements mit Immersionsflüssigkeit, wobei sich der Träger außerhalb des 25 Strahlengangs der Projektionsbelichtungsanlage befindet;

5 b) Heranführen des Trägers an das bildseitig letzte optische Element in einer Bewegung parallel zur Bildebene derart, daß sich die auf dem bildseitig letzten optischen Element und der lichtempfindlichen Oberfläche befindenden Immersionsflüssigkeiten berühren;

c) Vollständiges Einführen des Trägers in den Strahlengang in einer Bewegung parallel zur Bildebene, bis der Träger die zur Belichtung erforderliche Position erreicht.

10 10 Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung anhand der Zeichnungen. Darin zeigen:

15 Figur 1 einen Meridionalschnitt durch eine erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsanlage in stark vereinfachter, nicht maßstäblicher schematischer Darstellung;

Figur 2 eine Immersionseinrichtung gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel mit einem Entgaser;

20 Figur 3 der in Figur 2 angedeutete Entgaser in einer Schnittdarstellung;

Figur 4 einen Ausschnitt aus einer Immersionseinrichtung nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Figur 5 eine Kassette mit darin aufgenommenem Träger und
verschiebbar aufgenommener bildseitig letzter
Linse.

Figur 1 zeigt einen Meridionalschnitt durch eine insgesamt
5 mit 10 bezeichnete mikrolithographische Projektionsbelich-
tungsanlage in stark vereinfachter schematischer Darstel-
lung. Die Projektionsbelichtungsanlage 10 weist eine Be-
leuchtungseinrichtung 12 zur Erzeugung von Projektionslicht
13 auf, die u. a. eine Lichtquelle 14, eine mit 16 angedeu-
10 tete Beleuchtungsoptik und eine Blende 18 umfaßt. Das Pro-
jektionslicht hat in dem dargestellten Ausführungsbeispiel
eine Wellenlänge von 157 nm.

Zur Projektionsbelichtungsanlage 10 gehört ferner ein Pro-
jektionsobjektiv 20, das eine Vielzahl von Linsen enthält,
15 von denen der Übersichtlichkeit halber in Figur 1 lediglich
einige beispielhaft dargestellt und mit L1 bis L5 bezeich-
net sind. Auf Grund der kurzen Wellenlänge des Projektions-
lichts 13 sind die Linsen L1 bis L5 aus Kalziumfluorid-
Kristallen gefertigt, die auch bei diesen Wellenlängen noch
20 ausreichend transparent sind. Das Projektionsobjektiv 20
dient dazu, ein in einer Objektebene 22 des Projektionsob-
jektivs 20 angeordnetes Retikel 24 verkleinert auf eine
lichtempfindliche Oberfläche 26 abzubilden, die in einer
Bildebene 28 des Projektionsobjektivs 20 angeordnet und auf
25 einen Träger 30 aufgebracht ist.

Der Träger 30 ist am Boden eines wattenartigen, nach oben
offenen Behälters 32 befestigt, der in nicht näher darge-
stellter Weise mit Hilfe einer Verfahreinrichtung parallel

zur Bildebene 28 verfahrbar ist. Der Behälter 32 ist mit einer Immersionsflüssigkeit 34 so weit aufgefüllt, daß das Projektionsobjektiv 20 während des Betriebs der Projektionsbelichtungsanlage 10 mit seiner bildseitig letzten Linse 5 L5 in die Immersionsflüssigkeit 34 eintaucht. Bei dieser Linse L5 handelt es sich in dem dargestellten Ausführungsbeispiel um eine hochaperturige und vergleichsweise dicke Linse, von dem Begriff "Linse" soll hier aber auch eine planparallele Platte umfaßt sein.

10 Über eine Zuleitung 36 sowie eine Ableitung 38 ist der Behälter 32 mit einer Aufbereitungseinheit 40 verbunden, in der eine Umwälzpumpe, ein Filter zur Reinigung von Immersionsflüssigkeit 34 sowie eine Temperiereinrichtung in an sich bekannter und deswegen nicht näher dargestellter Weise 15 enthalten sind. Die Aufbereitungseinheit 40, die Zuleitung 36, die Ableitung 38 sowie der Behälter 32 bilden insgesamt eine mit 42 bezeichnete Immersionseinrichtung, in der die Immersionsflüssigkeit 34 zirkuliert und dabei gereinigt und auf konstanter Temperatur gehalten wird. Die Immersionseinrichtung 42 dient in an sich bekannter Weise dazu, das Auflösungsvermögen des Projektionsobjektivs 20 zu erhöhen.

Die Aufbereitungseinheit 40 enthält außerdem einen mit 44 angedeuteten Entgaser, dessen Aufbau weiter unten mit Bezug auf die Figur 3 näher erläutert wird. Der Entgaser 44 entzieht der zirkulierenden Immersionsflüssigkeit 34 gelöste gasförmige Bestandteile, die in dem Behälter 32 in die Gasphase gehen und auf diese Weise zur Bildung von Blasen führen können.

Figur 2 zeigt in einem vergrößerten Ausschnitt des bildseitigen Endes des Projektionsobjektivs ein anderes Ausführungsbeispiel für eine Immersionseinrichtung, wobei in den Figuren 1 und 2 einander entsprechende Teile mit den gleichen Bezugsziffern versehen sind. In dieser vergrößerten Darstellung ist besonders gut erkennbar, daß - wie auch bei dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel - die bildseitig letzte Linse L5 in einer Fassung derart gehalten ist, daß die plane bildseitige Grenzfläche der Linse L5 ohne Bildung von Vorsprüngen oder Spalten in die Fassung 46 übergeht. Auf diese Weise wird die Wahrscheinlichkeit verringert, daß es in diesem Übergangsbereich zu Verwirbelungen und infolgedessen zur Entstehung von Blasen 48 kommen kann.

Das im Strahlengang des Projektionsobjektivs 20 liegende Volumen zwischen der Linse L5 und der lichtempfindlichen Oberfläche 26 ist mit Immersionsflüssigkeit 34 aufgefüllt und wird deswegen im folgenden als Immersionsraum 50 bezeichnet. Seitlich ist der Immersionsraum 50 durch einen nach oben offenen Ring 52 und zur lichtempfindlichen Oberfläche 26 hin durch ein Dichtelement 54 abgedichtet. Auf das Dichtelement 54 kann verzichtet werden, wenn der Druck des umgebenden Gases so groß ist, daß ein Austreten der Immersionsflüssigkeit 34 verhindert wird. Der Ring 52 enthält eine erste, mit der Zuleitung 36 verbundene Bohrung 56, deren in den Immersionsraum 50 mündendes Ende einen Einfüllstutzen 58 bildet. Der Ring 52 enthält ferner eine zweite, mit der Ableitung 38 verbundene Bohrung 60, deren in den Immersionsraum mündendes Ende einen Absaugstutzen 62 bildet. Die Zuleitung 36 und die Ableitung 38 sind mit einer

Umwälzpumpe 64 verbunden, mit der sich die Immersionsflüssigkeit 34 in einem geschlossenen Kreislauf umwälzen lässt.

In der Zuleitung 36 ist stromaufwärts der Umwälzpumpe 64 ein Entgaser 44 angeordnet, der über einem dünnen Flüssigkeitsfilm einen großen Unterdruck aufbaut und auf diese Weise der Immersionsflüssigkeit 34 darin gelöste Gase entzieht und dadurch stark untersättigt. Infolge dieser Untersättigung bleiben noch in der Immersionsflüssigkeit 34 gelöste Gase zum ganz überwiegenden Teil auch dann in Lösung, wenn Druck- oder Temperaturschwankungen auftreten.

Insbesondere beim Befüllen des Immersionsraums 50 oder bei Bewegungen des Trägers 30 relativ zur bildseitig letzten Linse L5 können die Druck- und Temperaturschwankungen dennoch so groß werden, daß Blasen 48 entstehen können. Um bereits entstandene Blasen 48 aufzulösen, ist zusätzlich eine Ultraschallquelle 66 vorgesehen, die, wie in Figur 2 durch einen Doppelpfeil angedeutet, auf den Ring 52 einwirken kann. Die Blasen 48 werden dadurch zu hochfrequenten Bewegungen veranlaßt und dabei deformiert, wodurch sich die Blasen 48 rasch auflösen.

Figur 3 zeigt den Entgaser 44 schematisch in einem Querschnitt. Über die Ableitung 60 wird Immersionsflüssigkeit 34 in der mit Pfeilen angedeuteten Richtung mittels einer Pumpe 68 in eine ringförmige Verteilerleitung 70 gepumpt. Von der Verteilerleitung 70 aus läuft die Immersionsflüssigkeit 34 als ein dünner Film 72 eine vorzugsweise geneigt angeordnete, im dargestellten Ausführungsbeispiel kegel-

stumpfförmig ausgebildete Ablauffläche 74 herunter und sammelt sich schließlich in einer Auslaufleitung 76, die über die Pumpe 64 mit der Zuleitung 36 verbunden ist. Der über der Ablauffläche 74 verbleibende Raum 78 steht über eine 5 Saugleitung 80 mit einer Vakuumpumpe 82 in Verbindung und kann auf diese Weise evakuiert werden. Der dadurch in dem Raum 78 entstehende Unterdruck bewirkt, daß der Immersionsflüssigkeit 34 darin gelöste Gase entzogen werden.

Figur 4 zeigt einen Teil einer Immersionseinrichtung gemäß 10 einem anderen Ausführungsbeispiel, bei dem der Immersionsraum 50 lediglich seitlich, d. h. parallel zur Papierebene, nicht jedoch quer zu einer mit einem Pfeil 84 angedeuteten Scanrichtung mit Seitenwänden eingefaßt ist. Die Scanrichtung 84 ist diejenige Richtung, in der sich der Träger 30 15 während des Scanbetriebs unter der Linse L5 hinweg bewegt. Durch diese Relativbewegung zwischen dem Träger 30 und der Linse L5 entsteht eine Transportwirkung, durch die aus einem in den Immersionsraum 50 mündenden Einfüllstutzen 58' austretende Immersionsflüssigkeit 34 zu einem Absaugstutzen 20 62' gefördert wird, der ebenfalls in den Immersionsraum 50 hineinragt. Diese Transportbewegung verhindert, daß Immersionsflüssigkeit 34 entgegen der Scanrichtung 84 aus dem Immersionsraum 50 entweicht.

Die Transportwirkung kann zusätzlich verstärkt werden, wenn 25 der mit d in Figur 4 angedeutete Abstand zwischen der Linse L5 und der lichtempfindlichen Oberfläche 26 sich kontinuierlich in Scanrichtung verringert. Der Immersionsraum 50 hat dann eine keilförmige Gestalt, die die Transportwirkung verstärkt und zu einer besonders gleichmäßigen Ausfüllung

des Immersionsraumes 50 mit Immersionsflüssigkeit 34 führt. Um einen derartigen keilförmigen Immersionsraum 50 zu realisieren, kann beispielsweise der Träger 30 mit der darauf aufgebrachten lichtempfindlichen Oberfläche 26 leicht verkippt werden. Um eine entsprechend verkippte Bildebene zu erzielen, kann das Projektionsobjektiv 20 z. B. ein keilförmiges Korrekturelement enthalten.

In die Fassung 46' der Linse L5 ist zusätzlich ein Absaugstutzen 86 eingelassen, der die Aufgabe hat, im Austrittsbereich des Einfüllstutzens 58' entstehende Gasblasen sofort abzusaugen, bevor diese vor die bildseitige Grenzfläche der Linse L5 gelangen und dort Abbildungsfehler hervorufen können.

Figur 5 zeigt einen weiteren Weg, mit dem es möglich ist, das Entstehen von Blasen in der Immersionsflüssigkeit 34 zu verhindern. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Träger 30 mit der darauf aufgebrachten lichtempfindlichen Oberfläche 26 vollständig in eine rundum abgeschlossene Kassette 90 aufgenommen, deren gesamtes übriges Volumen von der Immersionsflüssigkeit 34 ausgefüllt wird. In die objektseitige, als Faltenbalg 92 ausgebildete Wandung ist eine bildseitig letzte Linse L5' derart eingesetzt, daß sich die Linse L5' in der mit einem Pfeil 84' angedeuteten Scanrichtung verschieben läßt, ohne daß sich dabei das Volumen innerhalb der Kassette 90 verändert. Auf diese Weise ist gewährleistet, daß die Immersionsflüssigkeit 34 in der Kassette 90 zu keinem Zeitpunkt mit einem Gas in Kontakt gelangen kann.

Vorzugsweise ist eine eigene Apparatur vorgesehen, um in die Kassette 90 den Träger 30 mit der lichtempfindlichen Oberfläche 26 einzubringen und das verbleibende Volumen mit der Immersionsflüssigkeit 34 aufzufüllen. Diese Apparatur 5 kann eine Vakuumpumpe umfassen, mit der sich sicherstellen läßt, daß die in einem Entgaser von gelösten Gasen weitgehend befreite Immersionsflüssigkeit in die Kassette 90 eingefüllt werden kann, ohne dabei mit einem Gas in Kontakt zu gelangen. Selbst wenn bei einer Verschiebung der Linse L5' 10 während des Scanvorgangs die Immersionsflüssigkeit 34 in der Kassette 90 in Bewegung versetzt wird, können auf diese Weise praktisch keine Gase in die Gasphase übergehen und auf diese Weise Blasen hervorrufen.

Patentansprüche

=====

1. Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit einer Beleuchtungseinrichtung (12) zur Erzeugung von Projektionslicht (13), einem Projektionsobjektiv (20) mit mehreren optischen Elementen (L1 bis L5; L5'), mit dem 5 ein in einer Objektebene (22) des Projektionsobjektivs (20) anordenbares Retikel (24) auf eine in einer Bildebene (28) des Projektionsobjektivs (20) anordenbare und auf einem Träger (30) aufgebrachte lichtempfindliche Oberfläche (26) abbildbar ist, und mit einer Immersionseinrichtung (42) zum 10 Einbringen einer Immersionsflüssigkeit (34) in einen Immersionsraum (50) zwischen einem bildseitig letzten optischen Element (L5; L5') des Projektionsobjektivs (20) und der lichtempfindlichen Oberfläche (26),

dadurch gekennzeichnet,

15 daß die Immersionseinrichtung Mittel (44; 66; 86; 90) umfaßt, durch die das Auftreten von Gasblasen (48) in der Immersionsflüssigkeit (34) verhindert werden kann und/oder bereits aufgetretene Gasblasen (48) entfernt werden können.

2. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, dadurch 20 gekennzeichnet, daß die Immersionseinrichtung (42) eine Absaugeeinrichtung zum Absaugen von Gasblasen (48) umfaßt, die einen in den Immersionsraum (50) mündenden Absaugstutzen (86) aufweist.

3. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (30) in einer Scanrichtung (84) der Projektionsbelichtungsanlage (10) verschiebbar ist und daß die Immersionseinrichtung (42) eine den Immersionsraum (50) zumindest teilweise begrenzende Seitenwand (32; 52) aufweist, die so ausgeführt ist, daß zumindest ein seitliches Abfließen der Immersionsflüssigkeit (343) quer zu der Scanrichtung (86) weitgehend verhindert wird.

10 4. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwand (52) das bildseitig letzte optische Element (L5) vollständig, vorzugsweise ringförmig, umschließt.

15 5. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß an die Seitenwand (52) eine Ultraschallquelle (66) angekoppelt ist, durch die die Seitenwand (52) in Schwingungen versetzbare ist.

20 6. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Immersionseinrichtung (42) Umwälzmittel zum Umwälzen der Immersionsflüssigkeit in dem Immersionsraum aufweist, die eine Umwälzpumpe (64), einen in den Immersionsraum mündenden Einfüllstutzen (58) und einen in den Immersionsraum mündenden Absaugstutzen (62) umfassen.

25 7. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Umwälzmittel einen Entgaser

- 20 -

(44) zum Entfernen von Gasblasen (48) aus der Immersionsflüssigkeit (34) aufweisen.

8. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Entgaser (44) eine geneigt angeordnete, vorzugsweise kegelstumpfförmige Ablaufläche (74) aufweist, auf die von oben Immersionsflüssigkeit (74) aufgebracht werden kann und über der ein Unterdruck aufbau-
bar ist.

9. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (30) in einer Scanrichtung (86) der Projektionsbelichtungsanlage verschiebbar ist und daß der Träger (30) so zu dem Projektionsobjektiv (20) angeordnet ist, daß sich die Ausdehnung des Immersionsraums (50) senkrecht zur Bildebene (28) entlang der Scanrichtung (86) verkleinert.

10. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Umwälzmittel in das Projektionsobjektiv (20), vorzugsweise in eine Fassung (46') des bildseitig letzten optischen Elements (L5), integriert sind.

11. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die lichtempfindliche Oberfläche (26) in einer abgeschlossenen und vollständig mit Immersionsflüssigkeit (34) gefüllten Kassette (90) aufgenommen ist, in deren objektseitiger Wandung das bildseitig letzte optische Element (L5') des Projektionsobjektivs (20) in ei-

ner zur Bildebene (28) parallelen Richtung (84') verschiebbar aufgenommen ist.

12. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die objektseitige Wandung so aus-

5 geführt ist, daß sich das mit der Immersionsflüssigkeit (34) gefüllte Volumen in der Kassette (90) bei einer Verschiebung des bildseitig letzten optischen Elements (L5') nicht verändert.

13. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 11 oder 12,

10 dadurch gekennzeichnet, daß die objektivseitige Wandung als Faltenbalg (92) ausgebildet ist.

14. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich mit der Immersionseinrichtung eine von der Immersions-

15 flüssigkeit verschiedene Spülflüssigkeit in den Immersionsraum einbringen läßt.

15. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (30) mit der lichtempfindlichen Oberfläche gegen eine Reinigungsplatte aus-

20 tauschbar ist, die in eine Bewegung innerhalb einer zu der Bildebene parallelen Ebene versetzbar ist.

16. Verfahren zum Einbringen einer Immersionsflüssigkeit in einen Immersionsraum (50), der zwischen einem bildseitig letzten optischen Element (L5) eines Projektionsobjektivs (20) einer Projektionsbelichtungsanlage (10) für

25 die Mikrolithographie und einer auf einem Träger (30) auf-

gebrachten, zu belichtenden lichtempfindlichen Oberfläche (26) ausgebildet ist,

gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Benetzen der lichtempfindlichen Oberfläche (26) und des bildseitig letzten optischen Elements (L5) mit Immersionsflüssigkeit (34), wobei sich der Träger (30) außerhalb des Strahlengangs der Projektionsbelichtungsanlage befindet (10) befindet;
- b) Heranführen des Trägers (30) an das bildseitig letzte optische Element (L5) in einer Bewegung parallel zu einer Bildebene (26) des Projektionsobjektivs (20) derart, daß sich die auf dem bildseitig letzten optischen Element (L5) und der lichtempfindlichen Oberfläche (26) befindenden Immersionsflüssigkeiten (34) berühren;
- c) Vollständiges Einführen des Trägers (30) in den Strahlengang in einer Bewegung parallel zur Bildebene (28), bis der Träger (30) die zur Belichtung erforderliche Position erreicht.

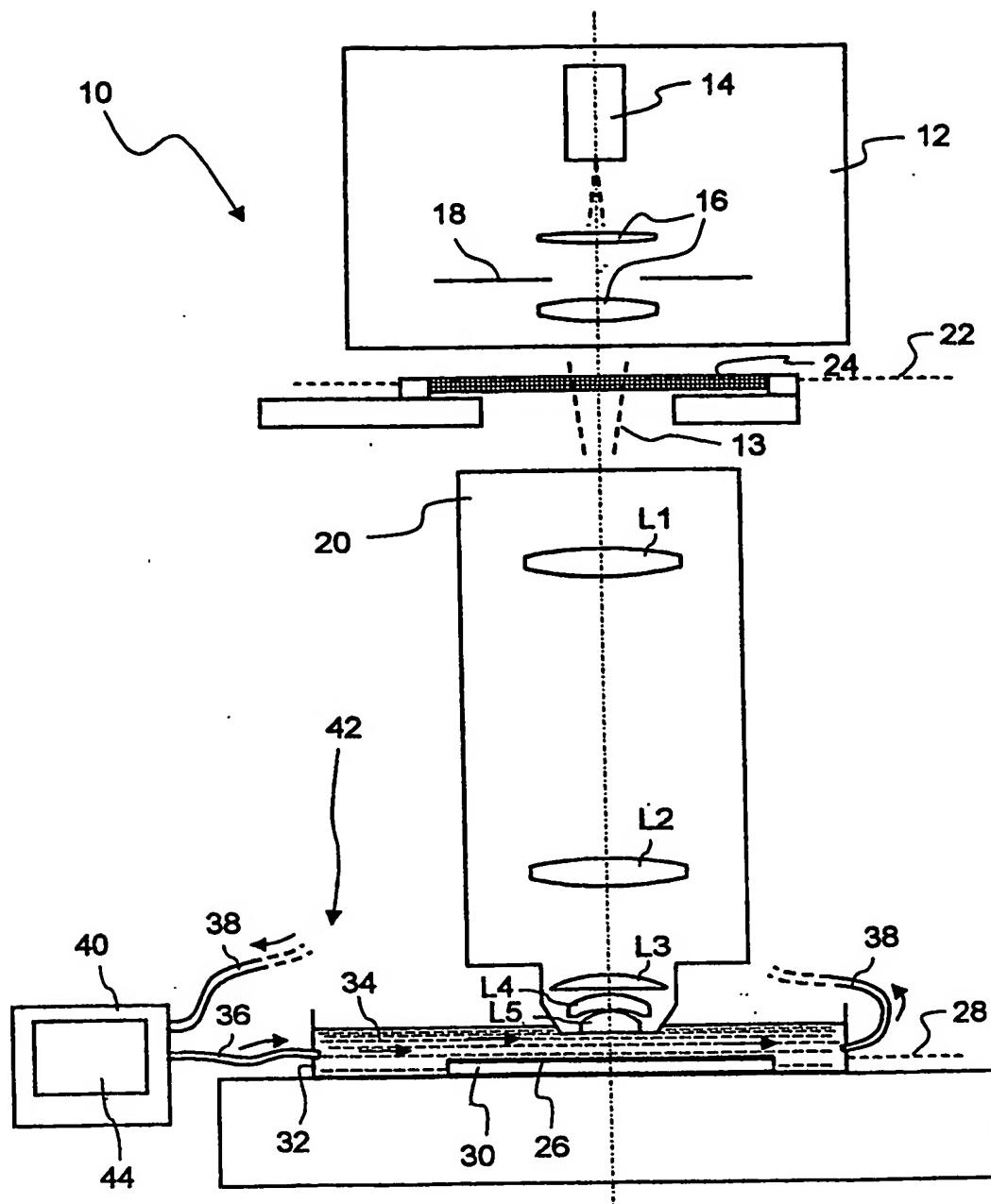


Fig. 1

2/3

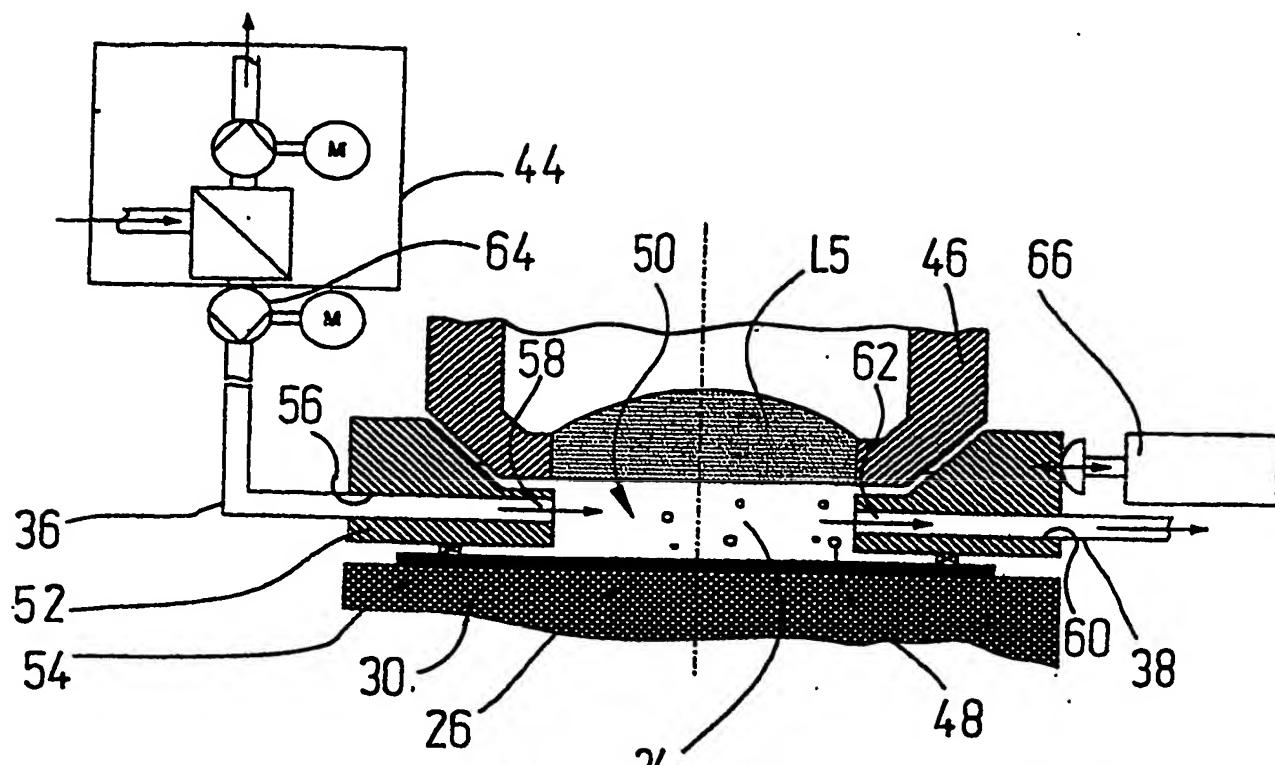


Fig. 2

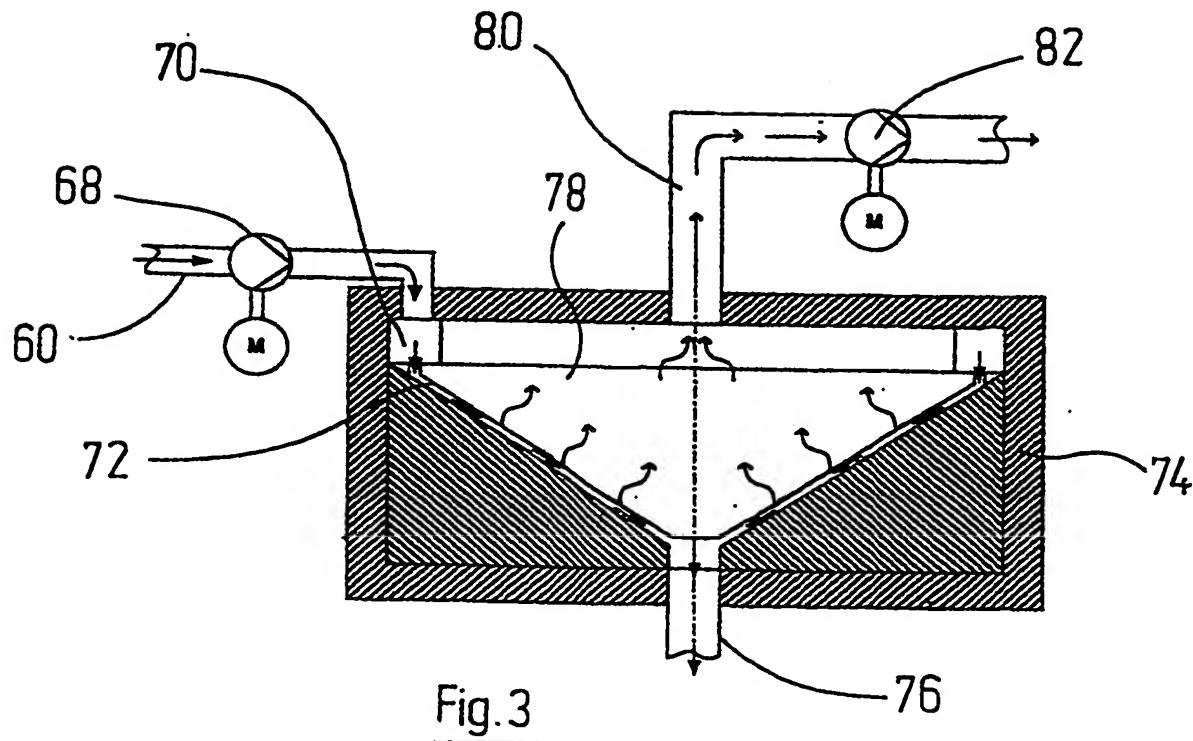


Fig. 3

3/3

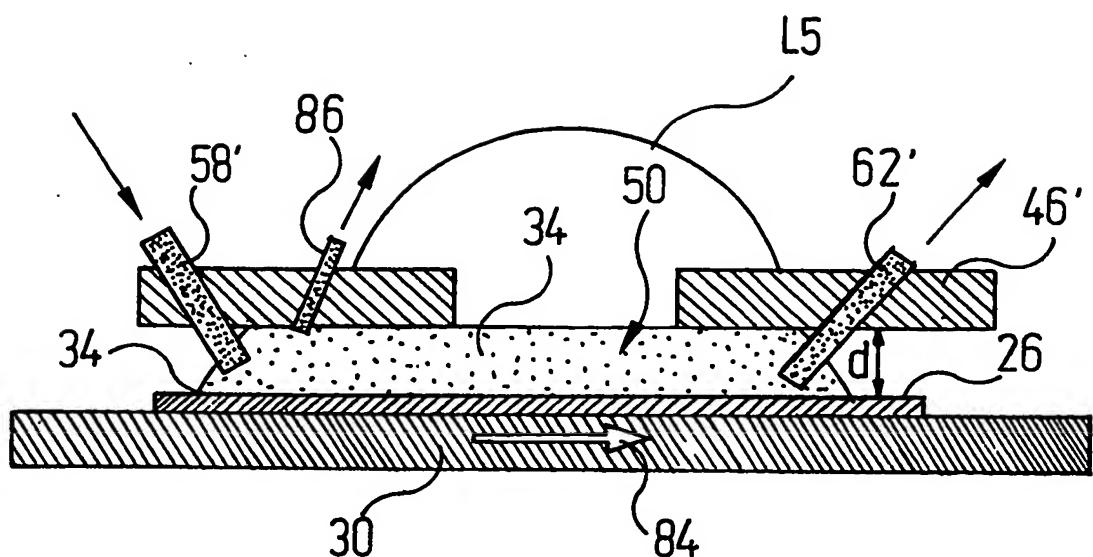


Fig. 4

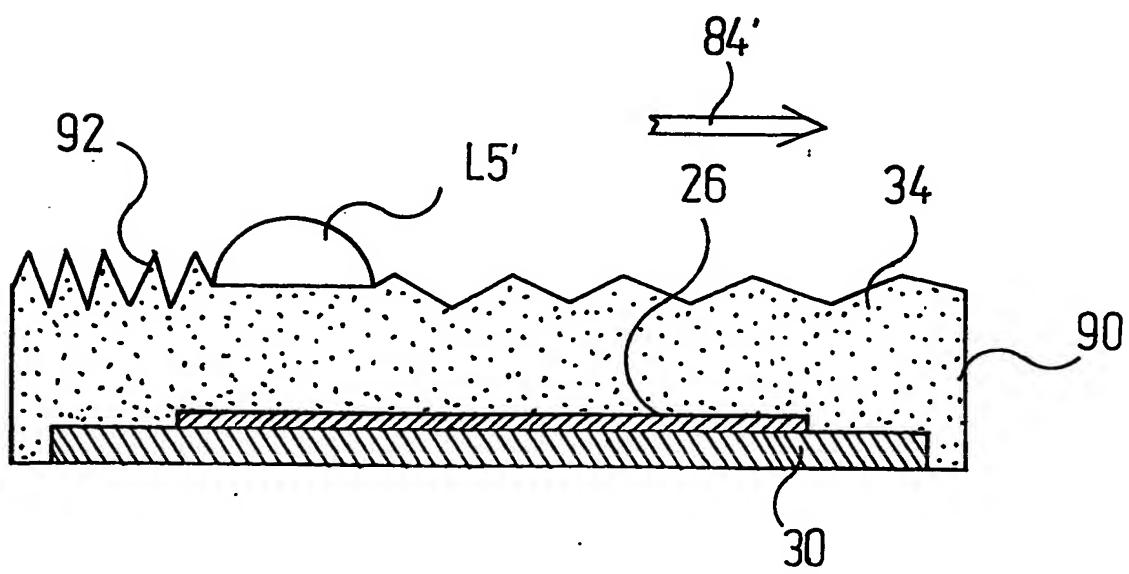


Fig. 5